



# Langzeitbeobachtung von Blazaren - Das DWARF- Netzwerk

**Michael Backes**



technische universität  
dortmund

für die DWARF Kollaboration

# Überblick

- ◆ Einführung in Blazar-Physik
  - ◆ Binäre schwarze Löcher?
  - ◆ Hadronische Beschleuniger?
- ◆ Motivation von Blazar-Langzeitbeobachtungen
- ◆ ...mit State of the art Cherenkov Teleskopen?
- ◆ **DWARF:** Globales IACT-Netzwerk
- ◆ Zusammenfassung

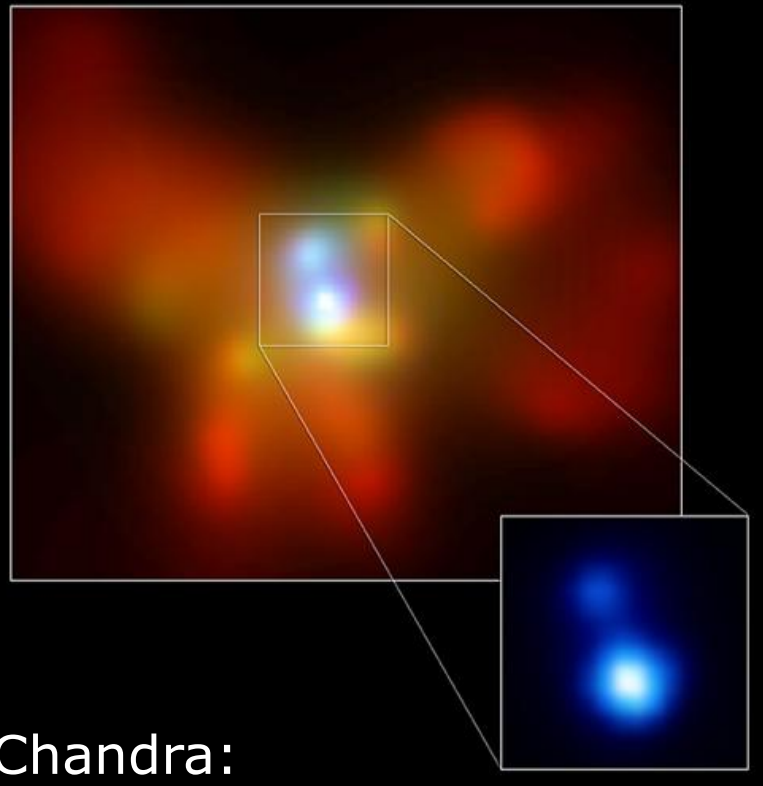
# AGN / Blazar-Physik



- ◆ Supermassives schwarzes Loch ( $M_{\text{BH}} \sim 10^9 M_{\odot}$ ) im Zentrum (ellipt.) Galaxien
- ◆ Teilchenbeschleunigung in Plasma-Jets
- ◆ dabei  $\gamma$ -Produktion durch
  - ◆ a)  $\mathbf{p} + \gamma \rightarrow \Delta \rightarrow \pi^0 \rightarrow \gamma_{\text{HE}}$  oder
  - ◆ b)  $\mathbf{e}^{\pm} \rightarrow \gamma_{\text{synchr.}} + \mathbf{e}^{\pm} \rightarrow \gamma_{\text{HE}}$
- ◆ Blazar: Jet zeigt auf uns
- ◆ Extrem variabel auf Zeitskalen von Minuten bis Jahrzenten



# Binary BHs in AGN I



Chandra:

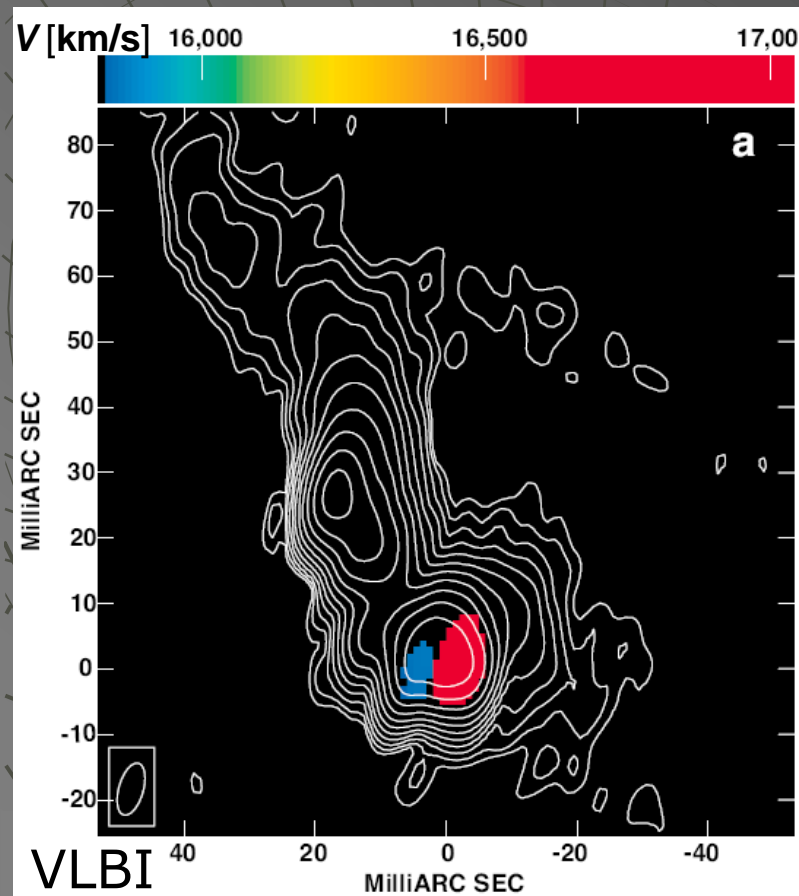
NGC 6240:  $z = 0.024$ ;  
 $d \sim 1.4 \text{ kpc}$ , 2 active Kerne

[Komossa+03]

- ◆ Natürliche Erwartung aus hierarch. Galaxienbildung  
[z.B. Begelman+80]
- ◆ Erklärung für 12yr Periode in OJ287  
[Sillanpää+87]
- ◆ Entdeckung **weiter** BBHs
- ◆ Entdeckung von 1 engem BBH (7pc, HI) [Rodriguez+09]
- ◆ Verschmelzungs-Kick-off durch asym. GW-Emission  
[Komossa+08]



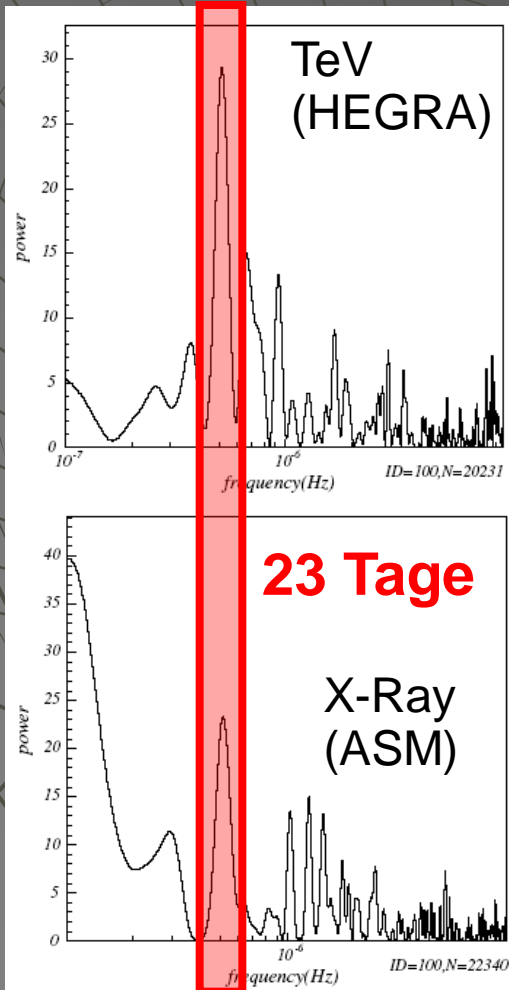
# Binary BHs in AGN I



0402+379:  $z = 0.055$ ;  
 $d \sim 7 \text{ pc}$ , Geschwindigkeit

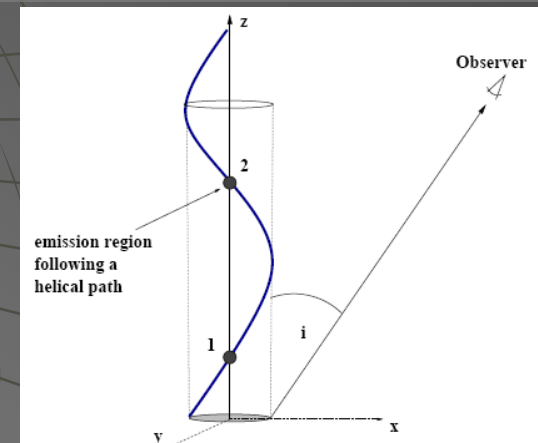
- ◆ Natürliche Erwartung aus hierarch. Galaxienbildung  
 [z.B. Begelman+80]
- ◆ Erklärung für 12yr Periode in OJ287  
 [Sillanpää+87]
- ◆ Entdeckung **weiter** BBHs
- ◆ Entdeckung von 1 engem BBH (7pc, HI) [Rodriguez+09]
- ◆ Verschmelzungs-Kick-off durch asym. GW-Emission  
 [Komossa+08]

# BBHs in AGN II: Blazare



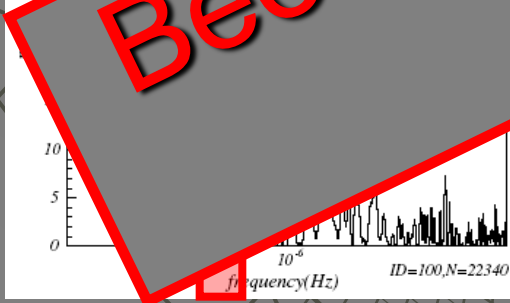
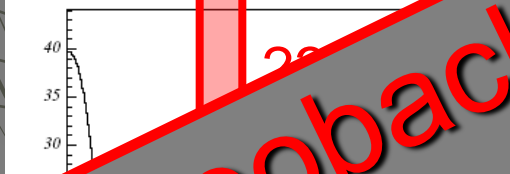
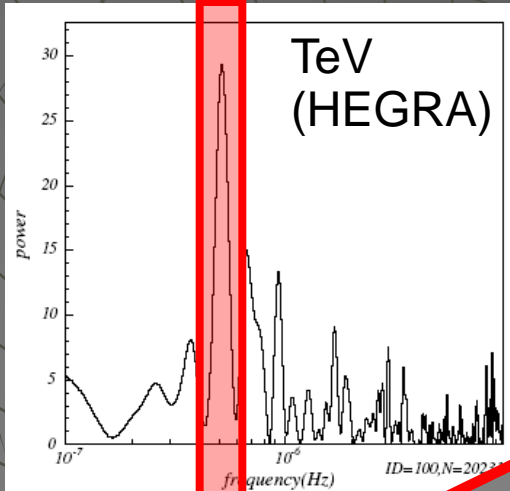
- ◆ Quasare=enge BBHs [Lobanov06]
- ◆ Nicht auflösbar → QPOs
- OJ287: [Sillanpää+87, Fan+98, Wu+06]
- Mkn501: [Kranich+99, Osone06, Yang+08]
- ◆ Interpretation von TeV-QPO als BBH

[Rieger & Mannheim00,  
De Paolis+02, Rieger07]



Langzeitbeobachtung von Blazaren –  
Das DWARF-Netzwerk

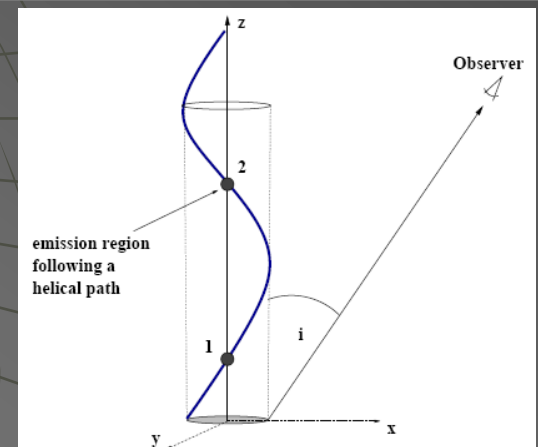
# BBHs in AGN II: Blazare



- Quasare=enge Bänder [6]
- Nicht auflöschbar [6]
- OJ287 [6]
- M [6]
- Wu+06 [6]
- Yang+08 [6]
- von TeV-QPO

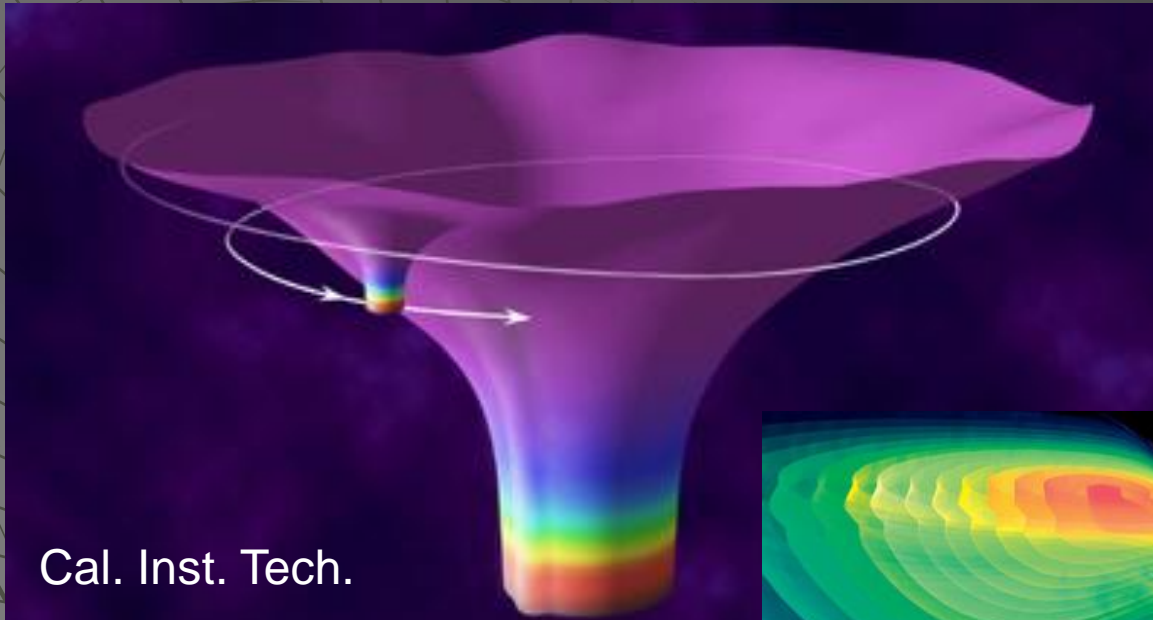
Beobachtungen über mehrere Perioden nötig!

Rieger & Mannheim00,  
De Paolis+02, Rieger07]

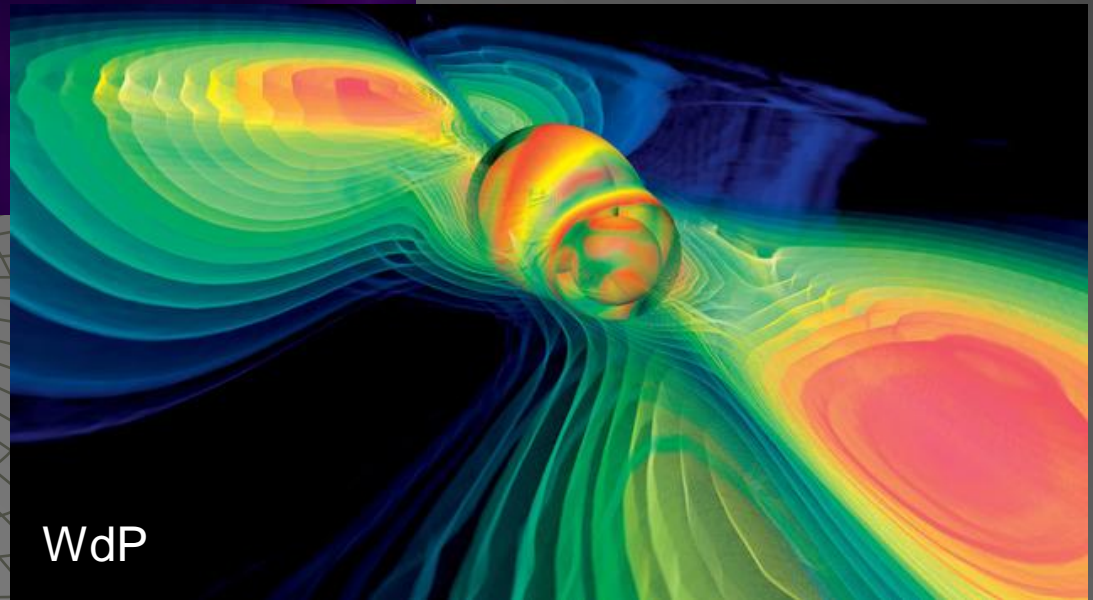




# BBHs in AGN III: GW



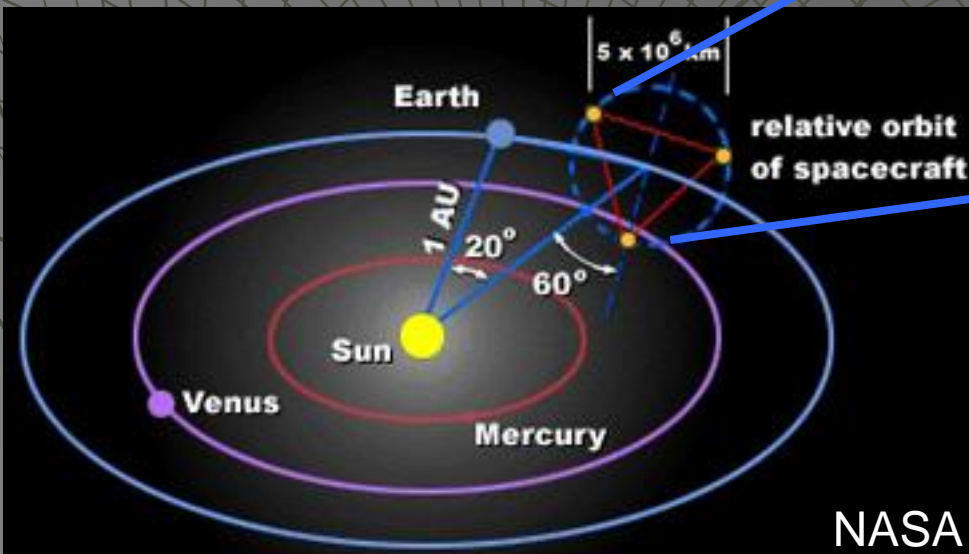
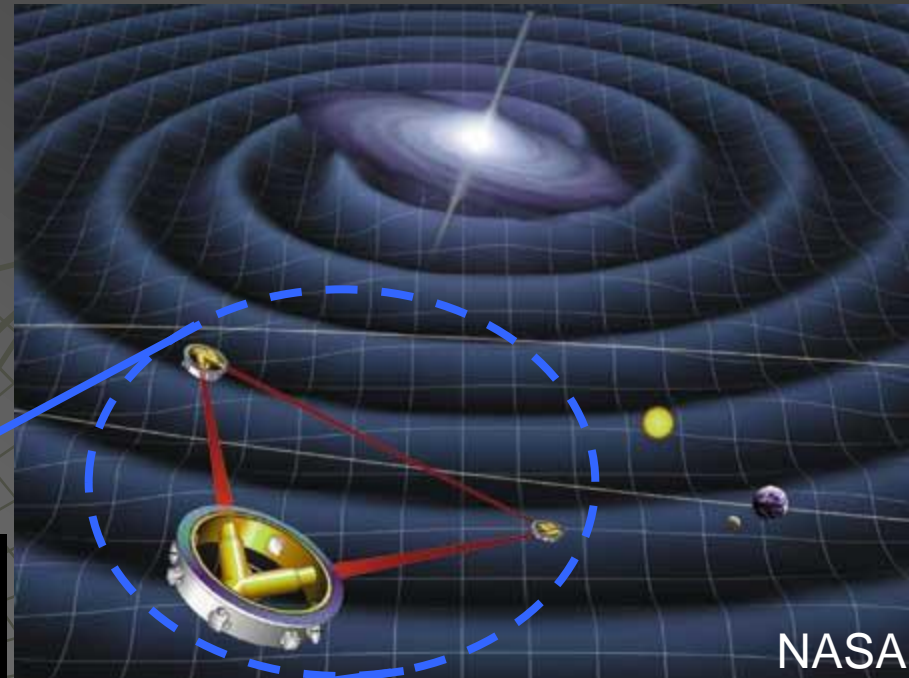
Cal. Inst. Tech.



WdP

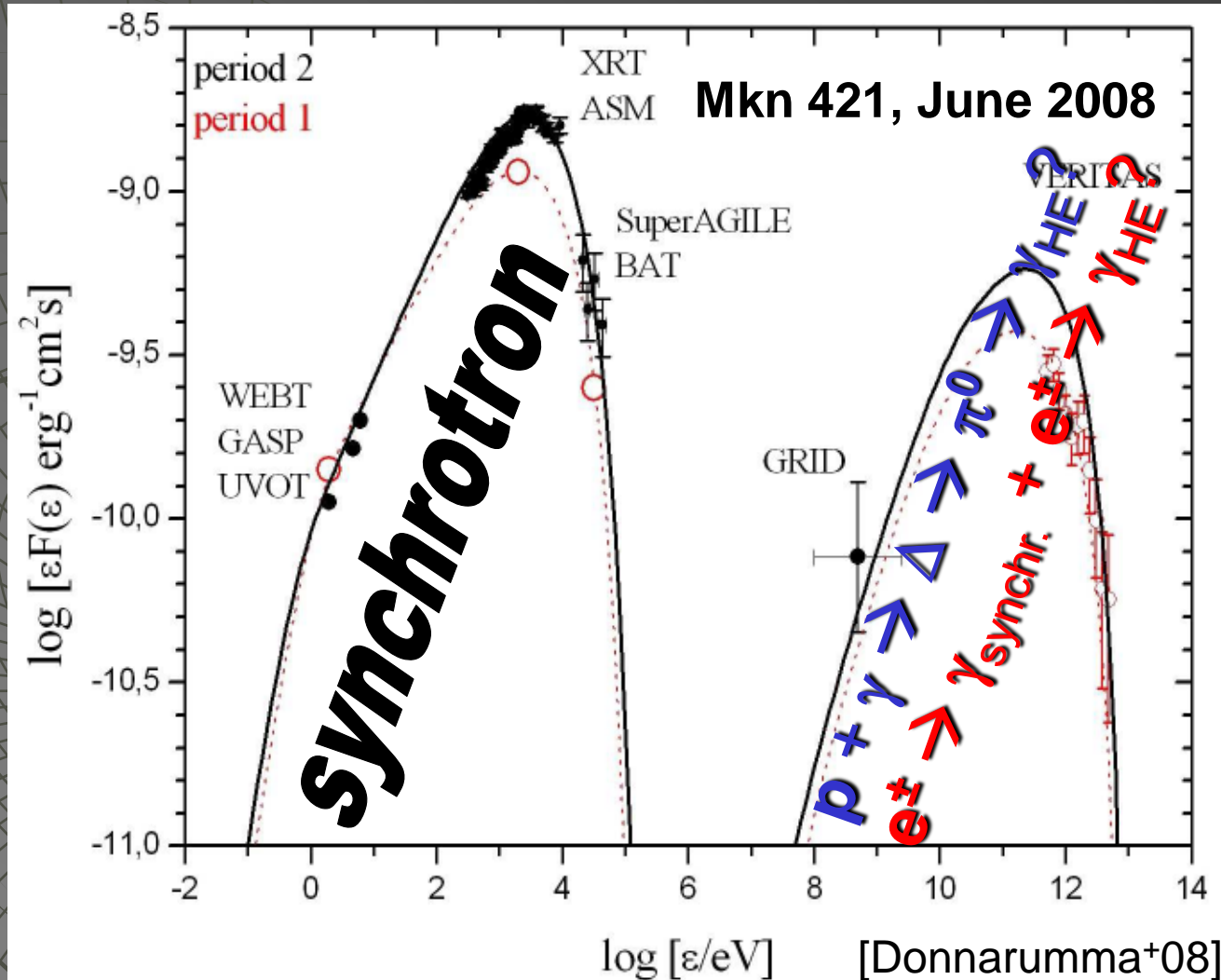
# BBHs in AGN IV: LISA

- ◆ LISA (2019) deutlich hintergrunddominiert
- ◆ Durch QPOs: Abstand & Massen



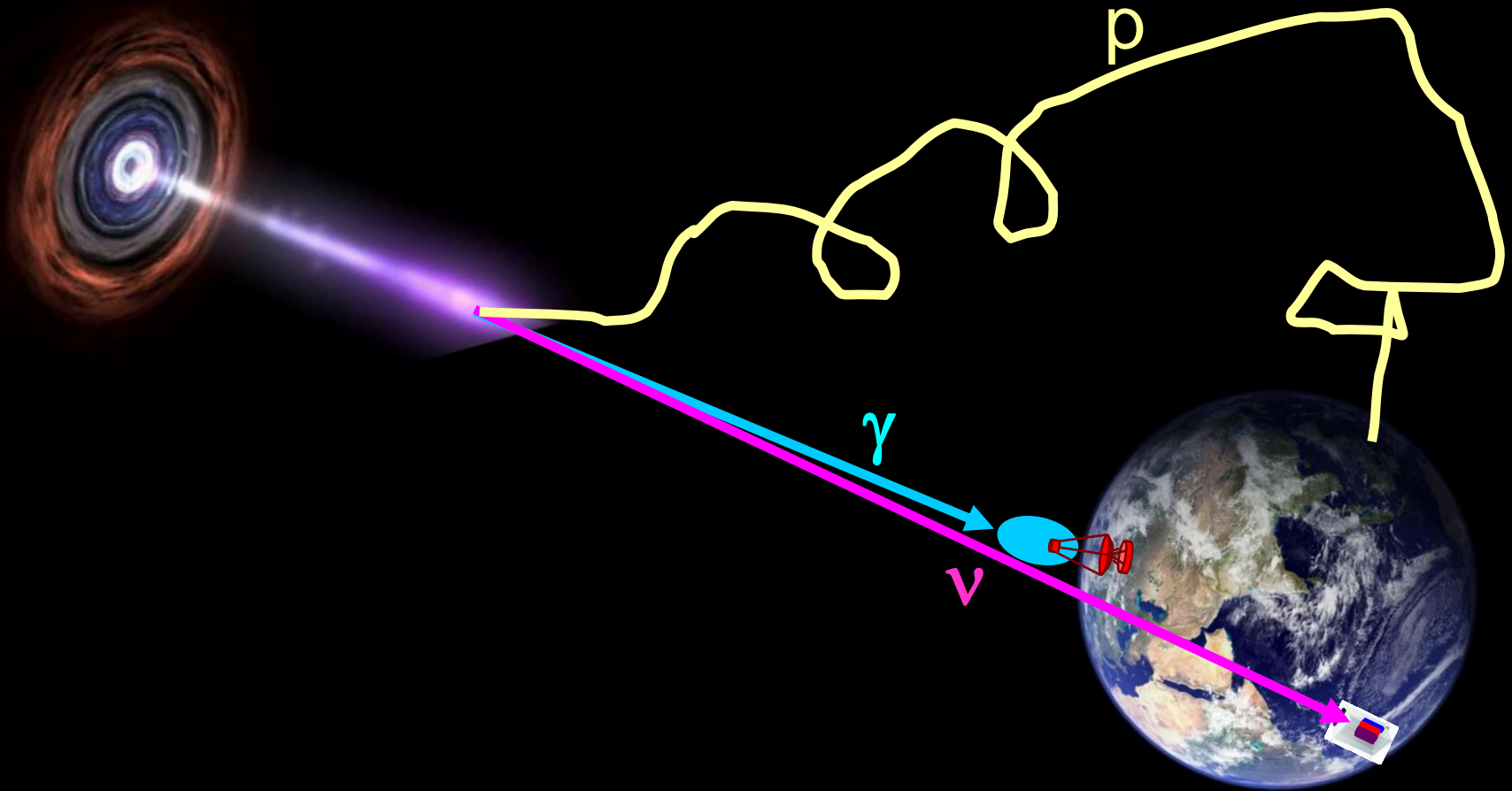
- ◆ → Template-Berechnung  
→ deutliche Hintergrund-  
reduktion

# Hadronische AGN?





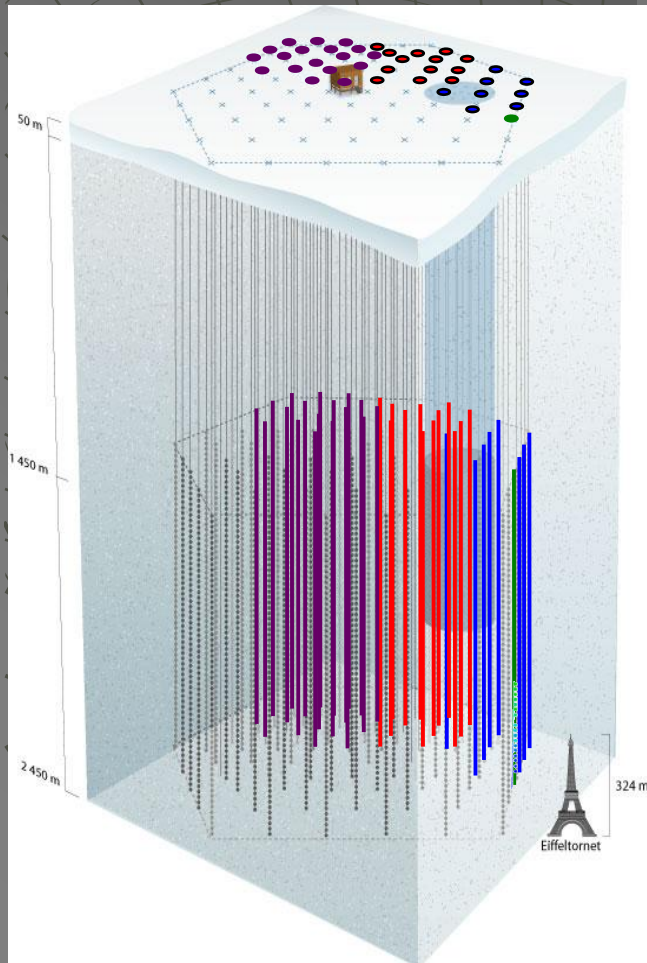
# Hadronische AGN III: $\nu$ & $\gamma$



# Hadronische AGN IV: $\nu$ in Ice<sup>3</sup>

- ◆ 1-2 atm bg  $\nu$ /yr/km<sup>3</sup>/deg<sup>2</sup> [Halzen+06]
- ◆ 2crab flare in **1h** mit **1 $\nu$**  /  
1crab flare in **1d** mit **2 $\nu$  > 4 $\sigma$**  [Godman+07]
- ◆ Vollständigkeit der  $\gamma$ -Daten  
statistisch entscheidend [Leier+06]

**Vollzeit-Beobachtungen  
nötig!**



# Motivation von Blazar- Langzeitbeobachtungen

- ◆ Indirekter Nachweis enger BBHs möglich
  - ↳ Massen und Abstand
  - ↳ Gravitationswellen-Template für **LISA**



# Motivation von Blazar- Langzeitbeobachtungen

- ◆ Indirekter Nachweis enger BBHs möglich
  - ↳ Massen und Abstand
  - ↳ Gravitationswellen-Template für **LISA**
- ◆ Koinzidente  $\gamma$ - und  $\nu$ -Messungen mit **IceCube**

# Motivation von Blazar- Langzeitbeobachtungen

- ◆ Indirekter Nachweis enger BBHs möglich
  - ↳ Massen und Abstand
  - ↳ Gravitationswellen-Template für **LISA**
- ◆ Koinzidente  $\gamma$ - und  $\nu$ -Messungen mit **IceCube**
- ◆ Bei Flares ToO-Beobachtungen mit **MAGIC**, **H.E.S.S.** und **VERITAS**

# Motivation von Blazar- Langzeitbeobachtungen

- ◆ Indirekter Nachweis enger BBHs möglich
  - ↳ Massen und Abstand
  - ↳ Gravitationswellen-Template für **LISA**
- ◆ Koinzidente  $\gamma$ - und  $\nu$ -Messungen mit **IceCube**
- ◆ Bei Flares ToO-Beobachtungen mit **MAGIC**, **H.E.S.S.** und **VERITAS**
- ◆ Ausgedehnte Multiwavelength-Beobachtungen (Radio, optisch, Röntgen, soft- $\gamma$  und TeV)
  - ↳ Besseres Verständnis der Zusammensetzung und Erzeugung der Jets



# ...mit state of the art IACTs?



Ja → [K. Satalecka T 87.5], ABER:



# ...mit state of the art IACTs?

Hohe Sensitivität bei Schwellenenergien um 100 GeV

↪ viele Beobachtungsaufgaben:

Pulsar-Wind-Nebel

Supernova Reste

Mikroquasare

Galaxienhaufen

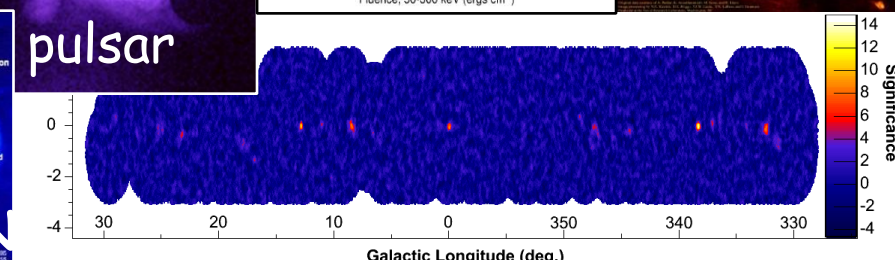
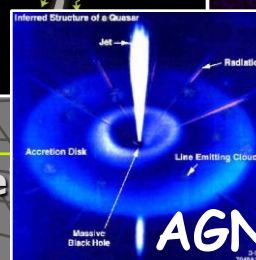
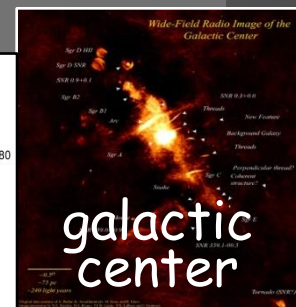
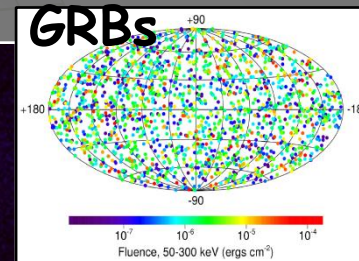
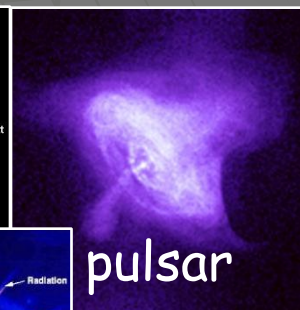
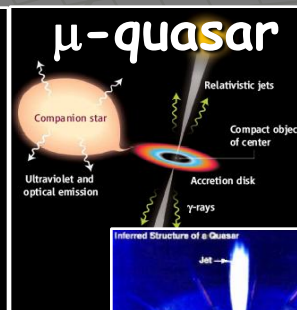
Radiogalaxien

Pulsare

Gamma-Ray-Bursts

Blazare

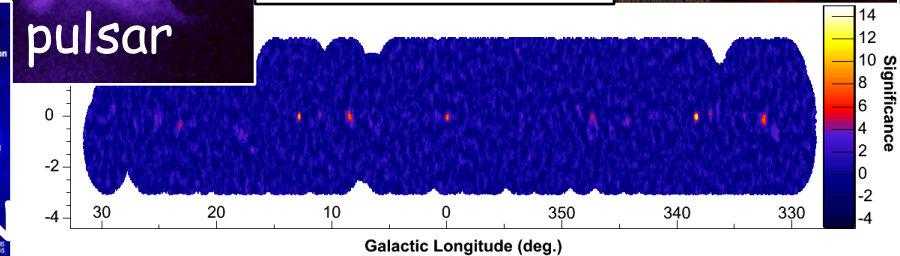
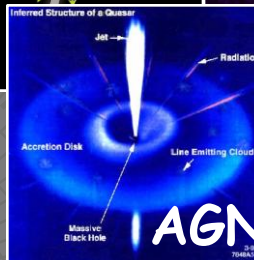
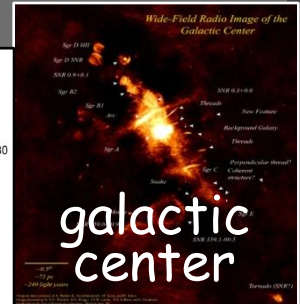
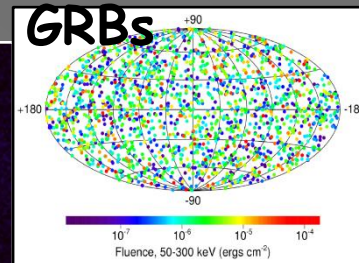
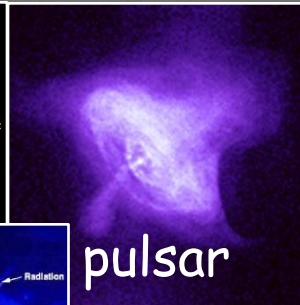
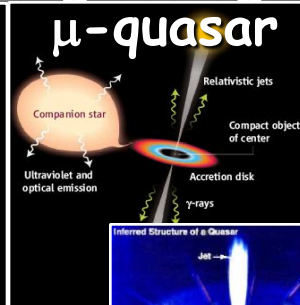
Galaktische Surveys



# ...mit state of the art IACTs?

Hohe Sensitivität bei Schwellenenergien um 100 GeV

↪ viele Beobachtungsaufgaben:



Galaxienhaufen  
Radiogalaxien

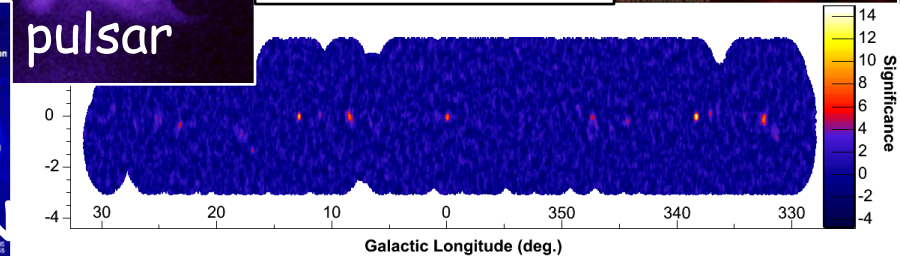
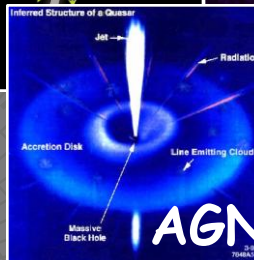
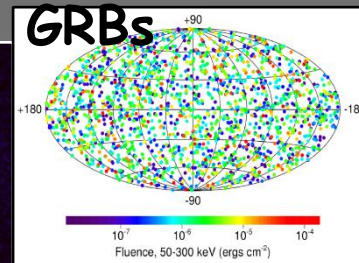
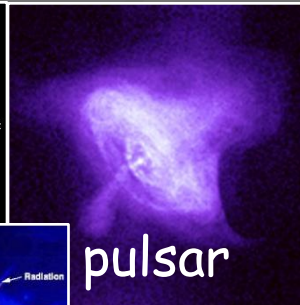
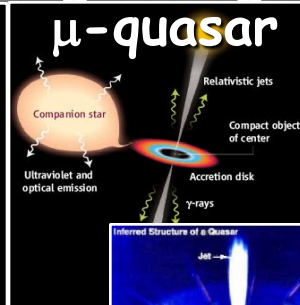
↪ keine kosteneffiziente Möglichkeit für 24/7 Monitoring



# ...mit state of the art IACTs?

Hohe Sensitivität bei Schwellenenergien um 100 GeV

↪ viele Beobachtungsaufgaben:



Galaxienhaufen  
Radiogalaxien

↪ keine kosteneffiziente Möglichkeit für 24/7 Monitoring

→ **D**edicated **W**orldwide **A**gn  
**R**esearch **F**acility (**DWARF**)

# Das DWARF Teleskop

TU Dortmund, Uni Genf, ÉPF Lausanne, ISDC Versoix,  
PSI Villigen, Uni Würzburg, ETH Zürich, Uni Zürich

→ [T. Bretz T 87.8]



MWL-Partner: Metsähovi  
(radio), Tuorla (optisch)

- ◆ 13,5m<sup>2</sup> Spiegel
- ◆ G-APD-Kamera  
→ [D. Hildebrand T 84.4]
- ◆ 5° field of view
- ◆ Höchst reflektive Spiegel  
und Winston Cones
- ◆ GHz-DAQ
- ↳  $E_{th} \sim 400 \text{ GeV}$



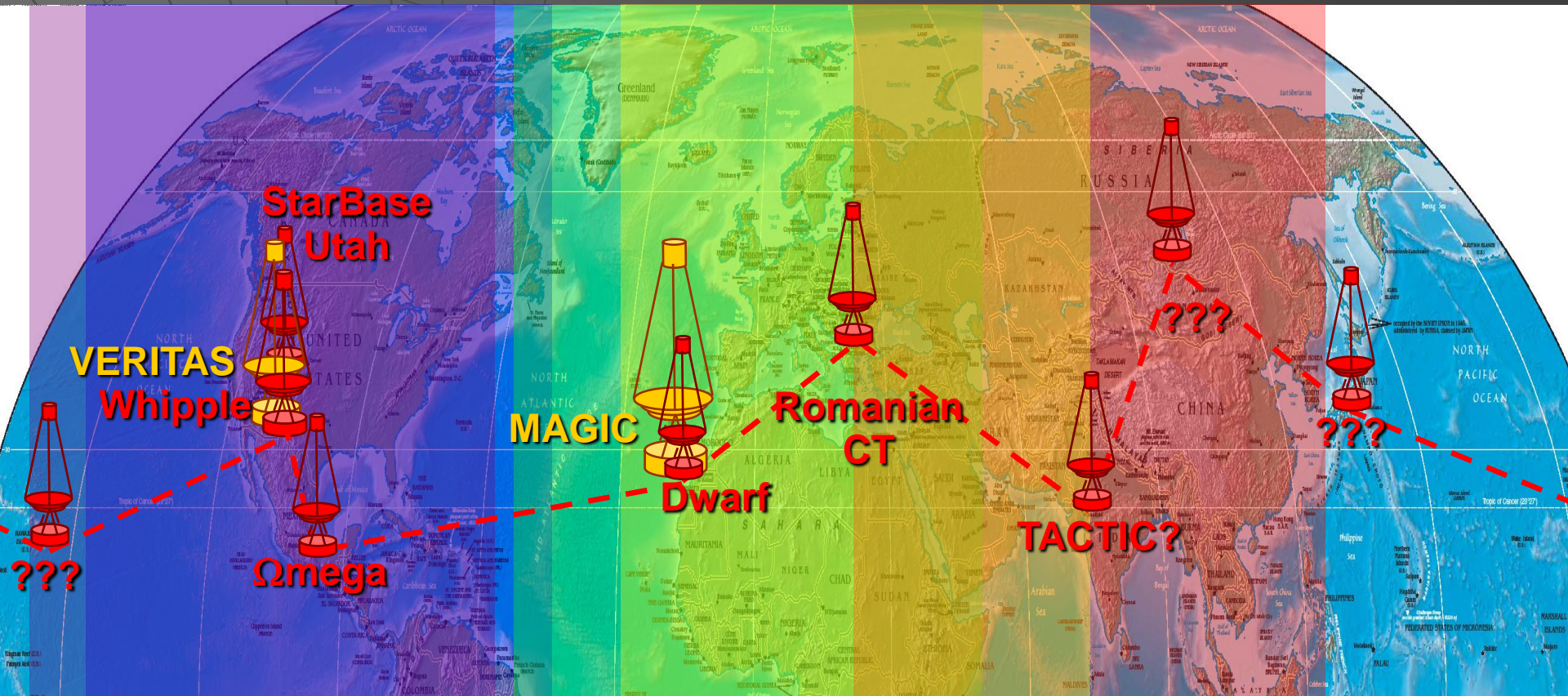
# Das DWARF-Netzwerk global verteilter IACTs



**D**edicated **W**orldwide **A**gn **R**esearch **F**acility  
**DWARF**



# Das DWARF-Netzwerk global verteilter IACTs



**D**edicated **W**orldwide **A**gn **R**esearch **F**acility  
**DWARF**



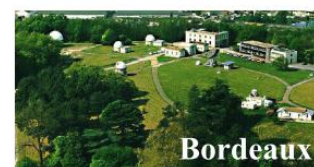
# Whipple 10m-Teleskop

Veritas Coll.



- ◆  $\sim 7\text{m}$  Fokallänge
- ◆ 2300m a.s.l.
- ↳  $E_{\text{th}} \sim 400 \text{ GeV}$

- ◆ MWL-Partner:
  - ◆ Monitoring
- [e.g. Fortson<sup>+</sup>08]

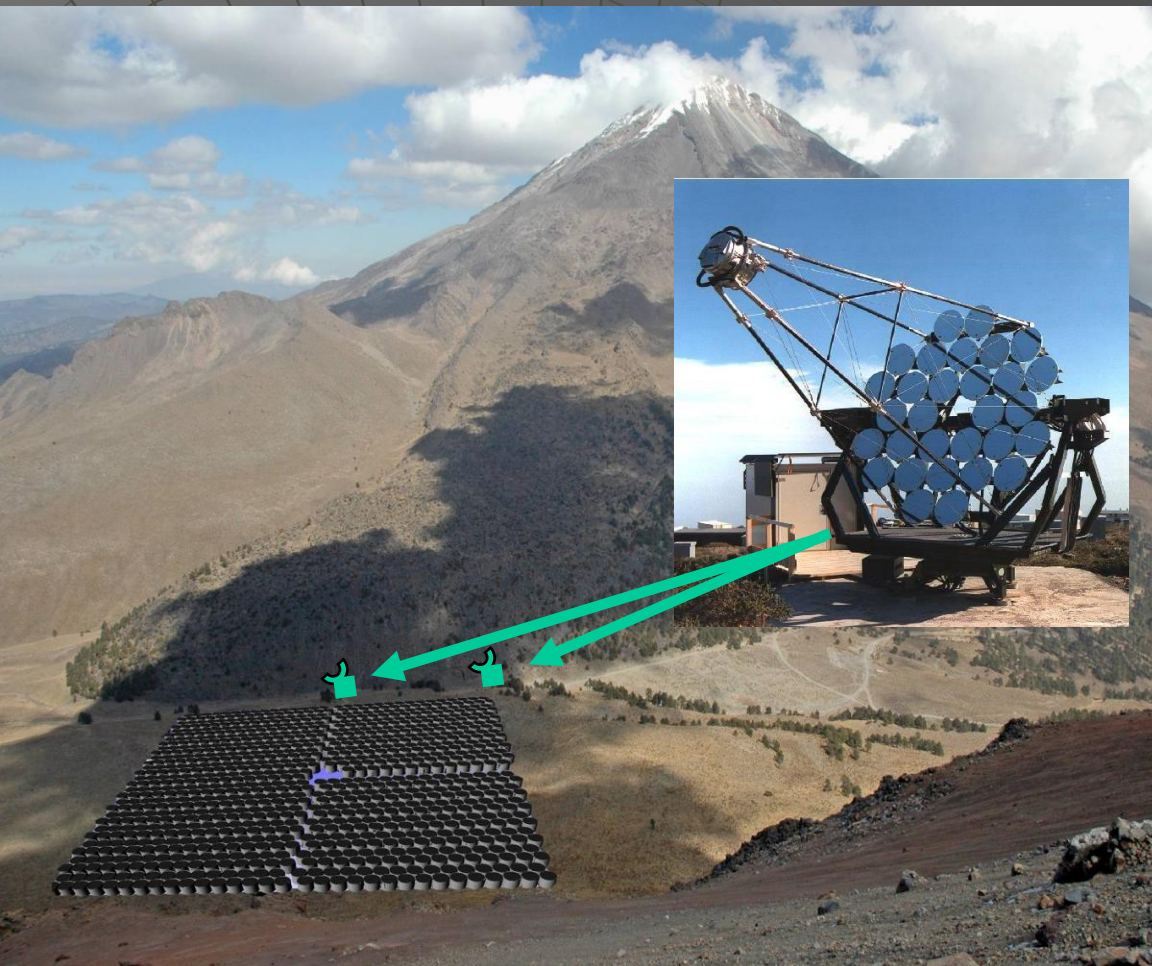


Langzeitbeobachtung von Blazaren –  
Das DWARF-Netzwerk



# Omega (@ HAWC)

UNAM Mexico, LPNHE Paris, INAOE Mexico, LANL, Uni Stanford



- ◆ 2 HEGRA-Teleskope
- ◆ 8,5m<sup>2</sup> Spiegel
- ◆ 271 Pixel-Kamera
- ◆ 4,92m Fokallänge
- ◆ 4,3° field of view
- ◆ 4100m a.s.l.
- ↳  $E_{th} \sim 700 \text{ GeV} \rightarrow ???$

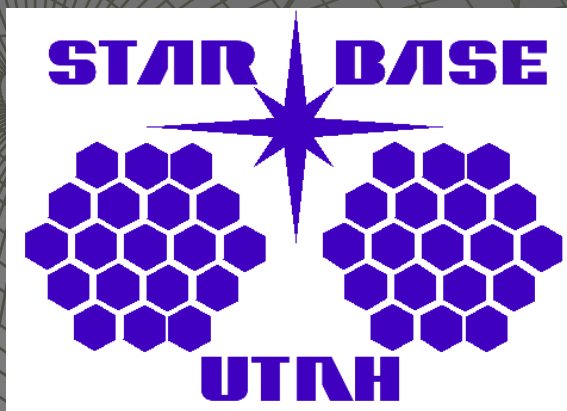
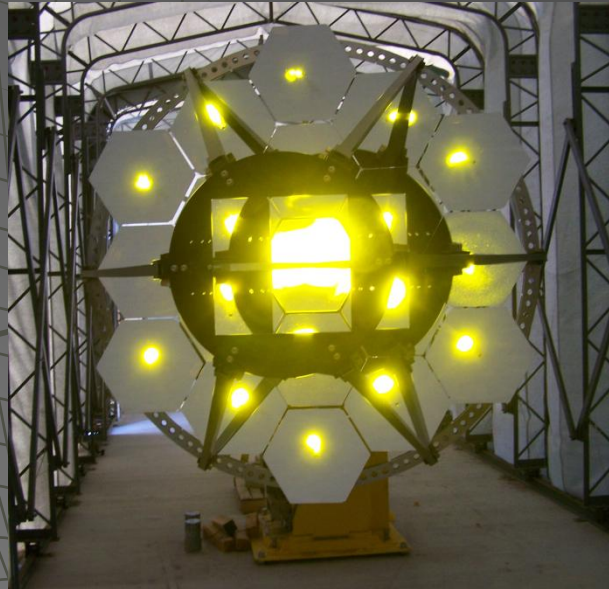
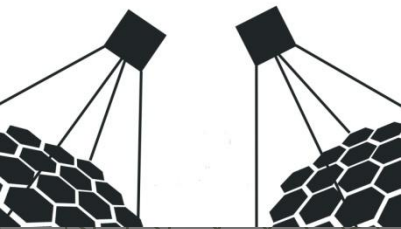
[Sacahui+08]



# StarBase Utah

Uni Utah

**STAR BASE  
UTAH**






- ◆ 2 Teleskope  
(Telescope Array)
  - ◆ 3m Spiegel
  - ◆ 3m Fokallänge
- ◆ 1. Jahr: Intensity Interferrometry
- ◆ Teleskope schon aufgebaut
- ◆ Keine Ch-Kamera (Test für AGIS...)

[e.g. Kieda+08]

# Romanian CT

## GAMMATEL

- **Site-search** (Aufwand, Firmensuche, Umwelt- und soziale Einflüssen)

Institute of the Space Sciences (ISS)   
National Meteorological Administration (METEO)   
Technical University of Civil Engineering Bucharest (TUCEB) 

## OPTOGRATRON

- Design, Bau und Test eines **Meßgerätes für den NSB**

Institute of the Space Sciences (ISS)   
National Meteorological Administration (METEO)   
National Inst. f. Research & Development in Fine Mechanics (INCDMF)  
Romanian Space Agency (ROSA) 



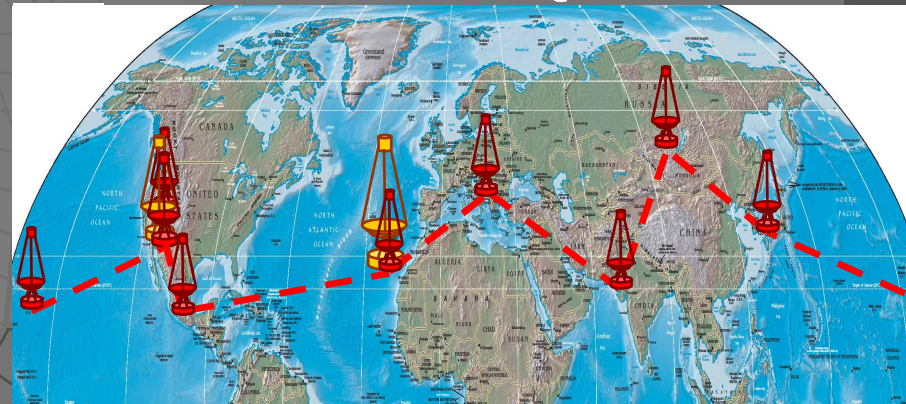
# Zusammenfassung

- ◆ Viel spannende Physik:
  - ◆ leptonische oder hadronische Jets?
  - ◆ Koinzidente  $\gamma$ - und  $\nu$ -Messungen
  - ◆ Binäre schwarze Löcher
  - ◆ Gravitationswellen
  - ◆ ...
- ◆ **MAGIC & H.E.S.S.:** Populationsstudien schwacher Quellen
- ↳ Dedizierte Teleskope für Langzeitstudien starker Quellen



## DWARF:

Netzwerk verteilter Teleskope  
für **24/7 Beobachtungen**



Langzeitbeobachtung von Blazaren –  
Das DWARF-Netzwerk

A photograph of a radio telescope facility at dusk or dawn. The sky is filled with soft, horizontal bands of pink, orange, and blue. In the foreground, the dark silhouette of a large radio telescope is visible on the left, with its long arm extending towards the horizon. A small, light-colored rectangular building is situated in the middle ground to the right of the telescope. The overall mood is serene and scientific.

*Vielen Dank!*

**D**edicated **W**orldwide **A**gn **R**esearch **F**acility  
**DWARF**

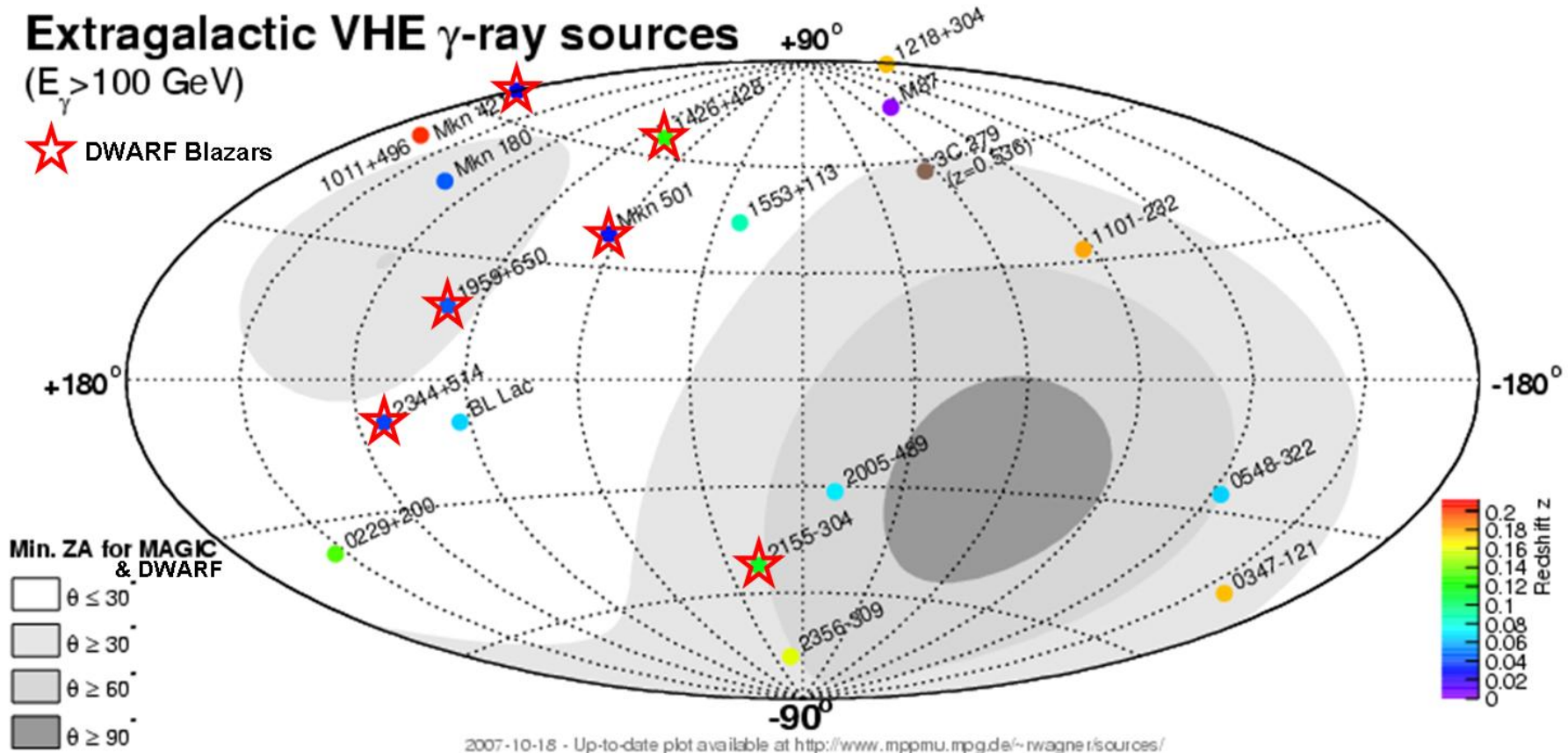


# Die DWARF-Quellen

## Extragalactic VHE $\gamma$ -ray sources

( $E_{\gamma} > 100$  GeV)

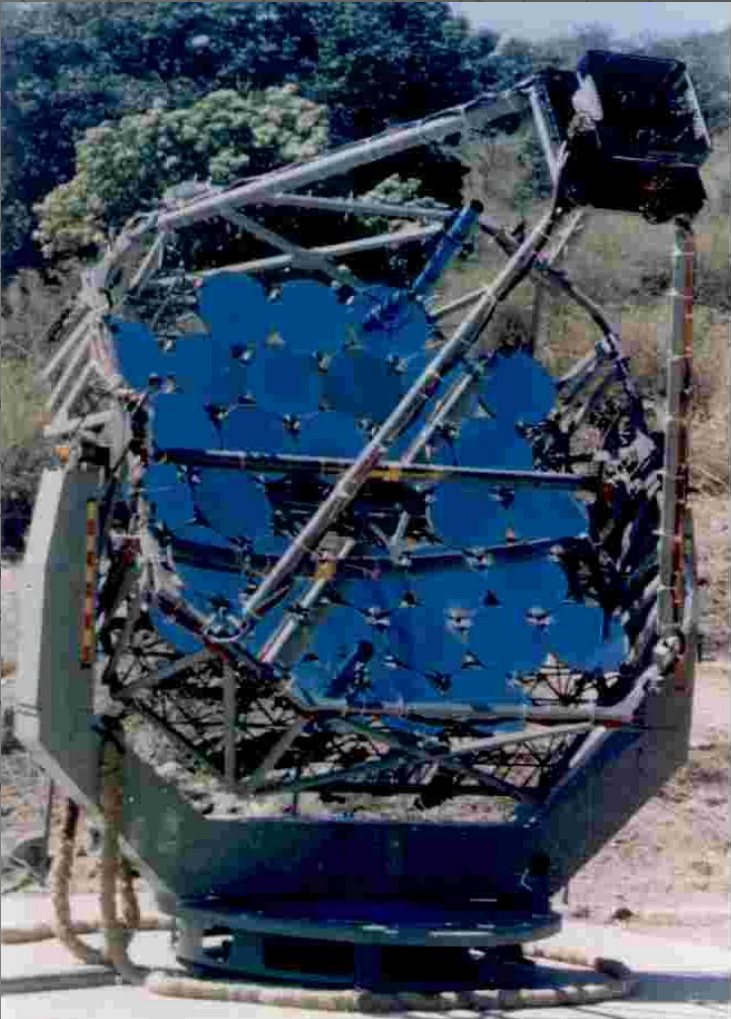
★ DWARF Blazars



Mkn 501, Mkn 421, 1ES 1959+650, 1ES 2344+514, H1426+428, Pks 2155-304

# TACTIC

Bhabha Atomic Research Center, Mumbai



- ◆ 9,5m<sup>2</sup> Spiegel
  - ◆ 349 Pixel-Kamera
  - ◆ 3,86m Fokallänge (parab.)
  - ◆ 6° field of view
  - ◆ 1300m a.s.l.
  - ⇒  $E_{th} \sim 1\text{TeV}$
  - ⇒  $5\sigma(25h) = 3\sigma(9h)$  [Koul+08]
  - ⇒ Laufendes Monitoring
- [Godambe+08]